

Безопасность сложных технических систем

ПОДГОТОВКА РЕШЕНИЯ ПО РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ПЛАНА ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕМОНТИРУЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (КОНСТРУКЦИЙ, ТРУБОПРОВОДОВ)

Ф.И. ПЕТРОВ, *ст. преподаватель*

Московский институт коммунального хозяйства и строительства

Переработка и использование демонтированных элементов целесообразно рассматривать как определенный этап в процессе реконструкции промышленных предприятий. В общем случае при формировании решения по использованию демонтированных элементов рассматриваются следующие задачи:

1. Определение организационно-технических условий, при которых наилучшим образом могут быть использованы различные варианты применения подлежащих демонтажу технологические конструкции, элементы трубопроводов. В качестве критерия оптимальности принимается определенный показатель формирования решения, по которому определяются рациональные параметры использования различных организационно-технических форм.

2. Определение для заданного объема работ по переработке, выполняемых при определенных организационных - технологических условиях, рационального варианта использования конкретного вида демонтируемых элементов. Данная постановка задачи должна использоваться при проведении проектных работ данных объектов, планировании использования данного вида материальных ресурсов на перспективу.

3. В условиях функционирования реконструируемого промышленного объекта актуальным является рассмотрение следующего варианта. Заказчик, при имеющейся собственной производственной базе и заинтересованности в рециклинге элементов демонтированных технологических конструкций и инженерных систем, может провести полную или частичную переработку, как с использованием собственного социально-производственного потенциала, так и с использованием ресурсов подрядчика (специализированной организации), передавав им на договорных условиях (лизинг, аренда) собственную производственную базу.

Для заказчика эффективность проведения переработки демонтируемых элементов связана, прежде всего, с нахождением рационального варианта использования собственной производственной базы переработки. Рентабельная деятельность базы переработки может быть достигнута только при гибком оперативном планировании производства на определенный период времени. Таким образом, существует определенное множество возможных решений по организации производства на конкретный период времени. Рациональная организация производства достигается выбором из этого множества одного - оптимального, обеспечивающего экстремальное (максимум, либо минимум) значение установленного критерия. Возможные решения удовлетворяют условиям (ограничениям) вытекающим из сложившейся ситуации: объем и виды демонтированных

элементов, оперативные возможности и экономические характеристики оборудования базы, состояние и ближайшие перспективы рынка сбыта готовой продукции. Составление эффективной производственной программы базы в каждой конкретной ситуации требует творческого использования технологических возможностей базы переработки и должно выполняться в сжатые сроки. Решение проблемы рационализации технологических возможностей базы переработки требует оперативного формирования и обновления массивов исходной информации, использования математических методов оптимального планирования, применения типовых компьютерных программ.

Рассмотрим характеристику производственной базы.

Состав продукции демонтажно-строительных работ достаточно разнообразен. Демонтируемые элементы, как определенный вид вторичных ресурсов, могут различаться по материалу, форме, геометрическим размерам, степени износа и другим свойствам. Данное разнообразие имеет место не только внутри конкретной партии, но и между партиями. Использование демонтируемых элементов заказчиком включает переработку их производственной базе заказчика и продажу части элементов на договорных условиях подрядчиком.

Переработка демонтажных элементов требует выполнения достаточно сложных технологических процессов с использованием станочного парка и других средств механизации, сосредоточенных на производственной базе. Производственные возможности разнообразны и могут приспособляться к конъюнктуре рынка. База, перерабатывая демонтируемые элементы, выпускает товарную продукцию в виде готовых изделий, полуфабрикатов, заготовок и т.д.

База переработки укомплектована средствами механизации, станками, оборудованными в посты в соответствии с выполняемыми ими операциями: разметка, резка, сварка, токарные работы, сверление и т.д., оборудование взаимозаменяемо только внутри каждого поста. Введем нумерацию специализированных постов: $1, 2, \dots, t, \dots, k$. На планируемый период известны ресурсы каждого поста в станко-часах, человеко-часах, машино-часах или других единицах характеристик для специализированного поста: $P_1, P_2, P_3, \dots, P_t, \dots, P_k$.

Демонтируемые элементы группируются по видам в зависимости от материала, геометрических размеров, формы и других свойств. Введем нумерацию видов демонтируемых элементов: $1, 2, 3, \dots, j, \dots, n$. Известен объем элементов каждого вида планируемый период: $V_1, V_2, \dots, V_j, \dots, V_n$. Исходя из сущности вторичных ресурсов, возможностей базы и спроса на потребительском рынке установлено, что в планируемом периоде может быть освоено производство нескольких типов изделий, их нумерации: $1, 2, 3, \dots, i, \dots, m$.

Для каждого типа изделий известны:

- нормы расхода материалов (демонтируемых элементов) каждого вида: r_{ij} - норма расхода на одно изделие типа "i" материала вида "j" (тонн, кг, м², пог.м);
- нормы затрат ресурсов каждого поста на одно готовое изделие: p_{it} - норма расхода на одно изделие типа "i" ресурсов поста номер "t".

Используемые на базе элементы демонтировались силами подрядчика, но доставка на базу в любом случае требует затрат зависящих от вида элементов, условий доставки и других факторов: C_j - затраты на демонтаж (приобретение)

и доставку единицы материала вида "j". На изготовление каждого вида конечной продукции (изделия) затрачиваются материалы, трудовые и технические ресурсы. Расчетная прибыль от реализации одного изделия будет

$$\Pi_i = Z_i - C_i \text{ (руб.ед)} \quad (1)$$

Рассмотрим экономико-математическую модель определения рационального варианта использования технологических возможностей базы.

Результатом расчета производственной программы должно быть определение количества изделий каждого типа i ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_i, \dots, X_m$), позволяющее получить наибольшую прибыль от ее реализации:

$$\Pi_1 X_1 + \Pi_2 X_2 + \dots + \Pi_i X_i + \dots + \Pi_m X_m = \Pi_{\max} \quad (2)$$

или

$$\sum_{i=1}^m \Pi_i X_i = \Pi_{\max} \quad (3)$$

При условиях:

1. Запас перерабатываемых материалов не должен превышать, т.е. для каждого вида демонтируемых элементов соблюдается неравенство:

$$\sum_{i=1}^m r_{ij} X_i = \sum V_j \quad \text{для } j = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

2. Ресурсы каждого поста переработки на базе не должны превышать своих возможностей:

$$\sum P_{it} X_i \leq \sum V_t \quad \text{для } t = 1, 2, \dots, k. \quad (5)$$

3. По существу задачи отрицательные значения неизвестных не имеют практического смысла:

$$X_i \geq 0 \quad \text{для } i = 1, 2, \dots, m. \quad (6)$$

Полученная математическая модель является полной моделью задачи линейного программирования. Ее отличительная особенность в присутствии коэффициентов при неизвестных. Решение такой задачи практического объема возможно, например, с помощью программного обеспечения симплекс – метода. Необходимые исходные данные: 1. Объем запаса демонтируемых элементов (материалов) каждого вида на склад (V_j); 2. Матрица норм расхода ресурсов каждого поста переработки базы на одно изделие каждого типа (P_{ij}); 3. Расчетная прибыль от реализации одного изделия каждого типа (Π_i).

Результаты оптимального решения: (1) Планируемое количество изделий каждого типа (V_j); (2) Максимальная сумма прибыли от реализации изделий (Π_{\max}); (3) Остатки элементов каждого вида на складе; (4) Неиспользованные ресурсы каждого поста на базе.

Задача, при необходимости, может решаться по критерию минимизации затрат на использование (переработку и остаток) всей партии демонтируемых элементов. При этом, затраты на переработку будут равны себестоимости изготовления изделий (C_i), а затраты на остаток неиспользованных элементов приравниваются к затратам на их приобретение (демонтажных).

В этом варианте целевая функция будет:

$$\sum_{i=1}^m C_i X_i = \Pi_{\max} \quad (7)$$

Ограничения по использованию запаса на складе превращаются в строгое равенство:

$$\sum_{i=1}^m r_{ij} X_i = \sum V_j \quad \text{для } j = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

Если ограничение не моделировать, то оптимальным решениям по минимуму затрат будет $X_i = 0$, т.е. остановить производство. Для решения данной задачи используется математический метод линейного программирования на основе «симплекс-метода». Использование предлагаемого механизма рационализации использования производственных возможностей базы переработки позволило ООО «Инженерные системы» г. Москва определить вариант производственной программы переработки с рентабельностью 38 процентов.

В отличие от предыдущей задачи, в данной постановке заказчик заинтересован в полной переработке и использовании всего объема демонтируемых элементов в установленный им срок. При этом, использование всего объема работ допускает переработку части на собственной производственной базе и продажу остатка подрядчикам. В ранее описанной задаче заказчик стремился изготовить из демонтированного объема ассортимент возможных готовых изделий, дающий наибольшую сумму прибыли.

Вторая особенность задачи состоит в том, что каждый вид демонтируемых элементов, входящих в партию резко отличающихся по свойствам и используется без комбинации с другими видами. Поэтому, для каждого вида демонтированных элементов разрабатываются и формируются собственные технологические линии переработки. Каждая из этих технологических линий дает свою продукцию (детали, конструкции, материалы и т.д.), которая может быть реализована на рынке с определенной прибылью. Таким образом, имеется возможность организации множества технологических линий переработки всей партии демонтированных элементов. Каждая из технологических линий этого множества представляет собой схему последовательного перемещения демонтированных элементов определенного вида по необходимым постам переработки. При этом, ресурсы (возможности) поста переработки на планируемый (заданный заказчиком) период ограничены. Возможности базы, т.е. специализированных постов переработки при решении задачи могут изменяться пропорционально изменению срока переработки. Поэтому возможно вариантное изменение исходных данных и нахождение срока переработки, при котором сумма получаемой прибыли заказчиком (или уровень рентабельности производства) будут наибольшими.

В итоге задача оптимизации формулируется следующим образом.

Какие элементы, в каком количестве и по каким технологиям следует обрабатывать на базе, а сколько реализовывать подрядчикам без обработки, чтобы вся поступившая партия элементов была использована, при этом возможности ни одного поста переработки не превышались, а вся совокупность продукции технологических линий могла быть реализована с наибольшей суммой прибыли. Партия демонтированных элементов общим объемом V разделена на виды демонтированных элементов. Нумерация видов: $1, 2, 3, \dots, i, \dots, m$.

Объем i -го вида обозначается V_i , при этом:
$$V = \sum_{i=1}^m V_i. \quad (9)$$

Демонтаж единицы элементов каждого вида требует соответствующих затрат – $Ц_i$ (руб/един.). Каждый вид демонтированных элементов может обрабатываться по вариантам разработанных только для этого вида элементов технологической схемы. Номера технологических схем для каждого вида: $1, 2, \dots, j, \dots, n_i$. Каждая из технологических схем, кроме фиктивных, предусматривает использование одного или ряда постов переработки. Фиктивная технологическая линия это процесс реализации элементов без обработки на базе с минимальной предпродажной подготовкой при условии $R \leq R_{\text{рын}}$. или по оценкам окупающим затраты на демонтаж. Номера постов переработки элементов на базе: $1, 2, \dots, t, \dots, k$; при $k \geq n$; $P^{(t)}$ - производственный ресурс поста номера t на планируемый период переработки элементов.

Расчетные параметры производства: $P^{(t)}_{ij}$ – норма затраты ресурсов поста (t /чел. – час, станко– час, маш. – час) на единицы элементов вида " i " по технологической схеме " j " (час на ед.); S_{ij} – прямые затраты (без стоимости демонтируемого элемента) типа " i " по технологии " j " (руб./ед.); C_{ij} – себестоимость единицы переработанного на базе продукта из элементов вида типа " i " по технологии " j " (руб/ед.прод.); $C_{ij} = (Ц_i + S_{ij}) \cdot k_{ij} \cdot k_{н.р}$, где: k_{ij} – коэффициент выхода сбытовой продукции из элементов вида " i " переработанных по технологии " j "; $k_{н.р}$ – коэффициент накладных расходов ($k_{н.р} > 1$). Параметры рынка реализации готовой продукции: Z_{ij} – сбытовая цена единицы i -го вида продукции изготовленной по технологии " j " из элементов вида " i " (руб/ед. прод.); Π_{ij} – расчетная прибыль от реализации единицы продукции произведенной из элементов вида " i " по технологии " j " (руб/ед. прод.), $\Pi_{ij} = Z_{ij} - C_{ij}$.

Математическая модель содержит систему неизвестных X_{ij} – количество демонтированных элементов вида " i " перерабатываемых по j -му варианту технологии для этого вида элементов. Целевая функция: сумма прибыли от использования (переработка и реализация) всех видов элементов за планируемый период должна быть максимальной:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij} \Pi_{ij} = \Pi_{\max}. \quad (10)$$

Перечислим также ограничения: (1) имеющиеся демонтируемые элементы

каждого вида должны быть использованы:
$$V_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (11)$$

(для каждого вида элементов, т.е. для $i = 1, 2, \dots, m$); (2) возможности (ресурсы) каждого поста на базе не должны превышать своих возможностей:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} P_{ij}^{(t)} \leq P^{(t)}; \quad (12)$$

(3) отрицательные значения неизвестных не имеют практического значения,

$$X_{ij} \geq 0. \quad (13)$$

Формирование производственного плана использования объема демонтируемых элементов осуществляется путем последовательного повторения циклов расчета. На каждом цикле из всей совокупности технологических линий для всех видов элементов выбирается линия при полной взаимной загрузке (т.е. с учетом системы ограничений) дающая наибольшую сумму прибыли; в производственный план включается максимальный объем использования этой технологической линии; определяется остаток неиспользованных демонтированных элементов и оставшиеся ресурсы постов переработки; проверяется остались ли неиспользованные элементы на складе: если "нет" – расчет закончен, если "да" – цикл повторяется, начиная с пункта "1".

Практическое внедрение методики рационализации плана переработки демонтируемых элементов осуществляется с помощью разработанного программного обеспечения на основе линейного программирования "симплекс-метода".

Проверка по оставшимся пропускным способностям технологических линий не нужна, т.к. для каждого вида элементов предусматривается "фиктивная" технологическая линия, означающая продажу переработанных элементов (т.е. без загрузки постов) по низкой цене возмещающей затраты на демонтаж и, следовательно, с очень малой прибылью. Возможности данной "фиктивной" линии не ограничены, но вследствие своей низкой прибыльности она будет включаться в план в последнюю очередь. Если количество оставшихся переработанными элементов значительно, то могут быть рассмотрены варианты плана с увеличенными сроками переработки (с увеличенными возможностями постов переработки) и выбран вариант со сроком, обеспечивающим наибольшую рентабельность производства.

Алгоритм выбора и блок-схема расчета рационального плана использования демонтируемых элементов представлены на рис. 1. Порядок проведения расчетов приведен ниже.

Блок 1. Вся партия демонтированных элементов, поступающих для переработки за период T рабочих дней, по физическим признакам, условия их дальнейшей переработки и характеристик конечной продукции делится на виды. Номера видов демонтированных элементов: $1, 2, \dots, i, \dots, m$. Общий объем партии – V (единиц).

Объем каждого вида: $V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_m$,
$$V = \sum_{i=1}^m V_i . \quad (14)$$

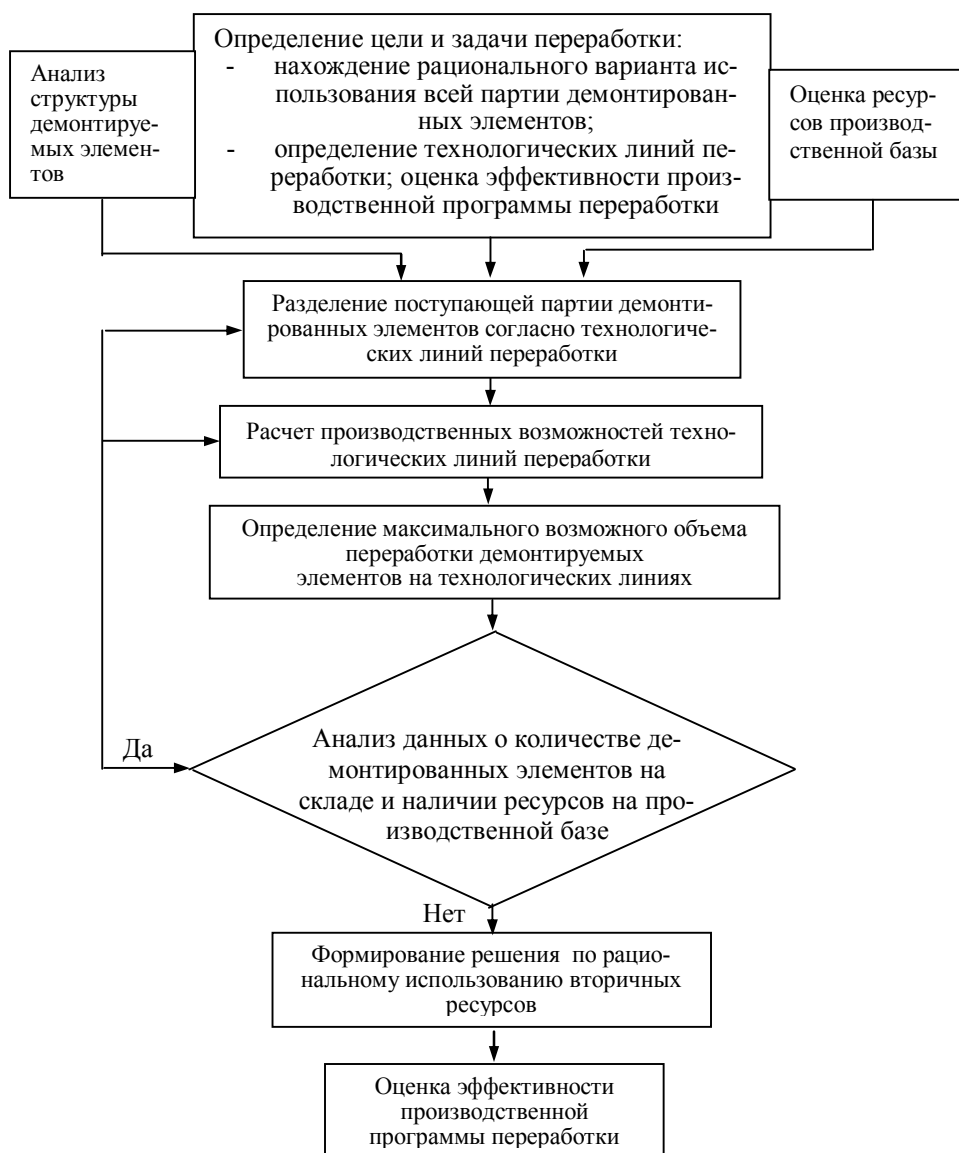


Рис. 1. Алгоритм выбора рационального использования демонтируемых элементов

Блок 2. Расчет затрат на демонтаж и доставку на базу переработки (или цена закупки) единицы элементов каждого вида: $C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_m$ (руб/ед.).

Блок 3. Определение типов конечной продукции, которые могут быть изготовлены при переработке демонтированных элементов каждого вида на производственной базе и с учетом спроса на рынке.

Блок 4. Разработка возможных схем движения демонтированных элементов каждого вида по постам переработки на производственной базе при изготовлении каждого возможного типа конечной продукции. Определение технологических схем. Номера технологических схем: $1, 2, \dots, j, \dots, m$.

Определение постов переработки на базе постов: $s_1, s_2, \dots, s_t, \dots, s_k$. Каждой технологической схеме соответствует свой тип конечной продукции.

Блок 5. Расчет производственного ресурса каждого поста на планируемый период T дней в чел. часах, маш. часах или других единицах измерения ресурсов: $P^{(1)}, P^{(2)}, \dots, P^{(t)}, \dots, P^{(k)}$.

Блок 6. Калькулирование норм затраты ресурсов на единицу перерабатываемых элементов каждого вида (i) на каждом переделе (t) по каждой технологической схеме (j); $Z_{ij}^{(t)}$ – норма для перерабатываемого элемента вида " i " по технологической схеме номер " j " на посту переработки " t " (чел. час/единица, маш. час/единица).

Блок 7. Расчет производственных возможностей технологических линий по переработке каждого вида демонтированных элементов за время T (дн.): а) определения пропускной способности каждого поста: для поста номер " t " по переработке элементов вида " i " по технологической схеме номер " j ", $P^{(t)} / Z_{ij}^{(t)}$; б) поскольку перерабатываемые элементы перемещаются в каждой технологической линии по постам последовательно, производственные возможности технологической линии номер " j " по переработке элементов номер " i " (V_{ij}) определяется как минимум из производственных возможностей проходимых этим элементом постов; $V_{ij} = \min \{ P^{(1)} / Z_{ij}^{(1)}; P^{(2)} / Z_{ij}^{(2)}; \dots, P^{(t)} / Z_{ij}^{(t)} \dots \}$ (единиц).

Блок 8. Расчет прямых затрат на переработку единицы элементов каждого вида (i) на технологической линии номер " j " C_{ij} (руб/един. элемента). Прямые затраты включают стоимость расходных материалов, стоимость эксплуатации средств механизации, заработную плату рабочих.

Блок 9. Расчет себестоимости каждого типа конечной продукции, получаемой из элементов для каждого вида I при переработке по схеме " j ", $C_{ij} = (C_i + S_i) \cdot K_{ij} \cdot K_{н.р.}$, где K_{ij} – коэффициент выхода конечной продукции получаемой на технологической линии " j " из элементов вида " i ";

K_{ij} = единиц готовых изделий / единица демонтированного элемента;

$K_{н.р.}$ – коэффициент накладных расходов ($K_{н.р.} > 1$).

Блок 10. Определение максимально возможного за время T объема переработки каждого вида демонтированных элементов (i) на каждой технологической линии; $V_{ij}^{(\max)}$ (единица конечной продукции). Этот объем не может быть больше количества демонтированных элементов соответствующего вида (V_i) и не должен превышать возможностей технологической линии номер " j " по переработке элементов типа " i " – (V_{ij}). Если $V_{ij} > V_i$, то $V_{ij}^{(\max)} = V_i$, если $V_{ij} < V_i$, то $V_{ij}^{(\max)} = V_{ij}$. Поскольку дальнейшие расчеты ведутся в единицах конечной продукции, то полученный результат надо умножить на коэффициент выхода K_{ij} .

Блок 11. Определение цены реализации каждого типа конечной продукции, как результат маркетингового анализа; Z_{ij} (руб / единица конечной продукции).

Блок 12. Расчет суммы прибыли, которая может быть получена от реализации максимально возможного объема продукции произведенной на каждой технологической линии $\Pi_{ij} = V_{ij}^{(\max)} (Z_{ij} - C_{ij})$ (руб).

Блок 13. Выбор технологической линии " j " по переработке демонтируемых элементов вида " i " дающей максимальную сумму прибыли ($\max \Pi_{ij}$) и включение в производственный план изготовления наибольшего количества продукции на

этой линии V_{ij} . Если одинаковую максимальную прибыль дают несколько линий, то последующий расчет выполняется до конца поочередно для каждой линии максимальной прибыли и выбирается линия, при которой получена наибольшая сумма прибыли в результате переработки всей партии демонтированных элементов.

Блок 14. Внесение изменений в сведения о запасе демонтированных элементов и об остатке производственных ресурсов на базе по каждому посту переработки. Остаток элементов вида "i" равен $V_i - V_{ij} \cdot (1/k_{ij})$. Остаток ресурсов на посту переработки "t" равен $P^{(t)} - Z_{ij}^{(t)} \cdot V_{ij} \cdot (1/k_{ij})$. Коэффициент k_{ij} применен для перехода от измерения в единицах конечной продукции V_{ij} к единицам измерения норм расхода ресурсов $Z_{ij}^{(t)}$. Последним измеряют нормы ресурсов на единицу демонтированных элементов.

Блок 15. Проверка: остались ли на складе после очередного цикла расчетов непереработанные элементы.

Блок 16. Проверка: остались ли на базе после очередного цикла расчетов технологические линии имеющие возможности по ресурсам перерабатывать демонтированные элементы оставшиеся на складе.

Блок 17. Если после очередного цикла расчетов остались элементы на складе и есть ресурсы технологических линий на базе, то продолжение расчетов по новому циклу.

Блок 18. Если элементы на складе еще остались, а ресурсов на базе нет, то необходимо принимать решение о дальнейшем использовании оставшихся элементов. Формирование плана закончено.

Блок 19. Если остатка элементов на складе нет и возможности (ресурс) базы использованы полностью, то расчет окончен.

Блок 20. Формирование (составление) рациональной программы переработки объема демонтированных элементов на период T (дней).

Блок 21. Оценка эффективности производственной программы: расчет уровня рентабельности

$R = (\text{сумма прибыли от реализации продукции переработки} / \text{сумма затрат на переработку всего объема демонтируемых элементов}) 100\%$.

Данная методика позволяет проводить расчеты путем перебора различных вариантов и выявить вариант с наибольшей эффективностью.

Для практической реализации данной модели используется математический метод линейного программирования на основе «симплекс–метода». Программное обеспечение позволяет количественно сформировать различные варианты решений и выбрать из них наилучший.

Практическая апробация данной экономико-математической модели при подготовке решений по рационализации плана переработки и использования вторичных ресурсов ЗАО «Спецстройкомплект», полученных при реконструкции цеха белкового гидролизата ОАО «Мясокомбинат Раменский», позволило снизить стоимость реконструкции на 18 процентов.

THE PREPARATION OF THE DECISION FOR RATIONAL PLAN OF THE CONVERSION AND USING OF DISMANTLING ELEMENTS (STRUCTURES, PIPELINES)

F.I. Petrov

*Статья поддержана для публикации акад. РА АСН,
д.т.н., проф. В.М. Бондаренко*

